

Evaluación de alternativas tecnológicas para la valorización del lactosuero en medianas y pequeñas empresas lácteas mediante una revisión bibliográfica

Daniela Yuliana Carvajal Lozano y Felipe Navarro Probst
Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Químico

Director

Luis Enrique Lambis Benítez

Ingeniero Químico

Codirector

Robin Alexis Cristancho Perilla

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas
Escuela de Ingeniería Química
Ingeniería Química
Bucaramanga

2024

Dedicatoria

En primer lugar, agradezco a Dios por su guía y fortaleza durante esta etapa universitaria. A pesar de las múltiples situaciones que enfrenté, su presencia constante me permitió superar los desafíos y avanzar sin importar las circunstancias.

A mis padres, por su apoyo incondicional, sus oraciones y consejos valiosos que me impulsaron a culminar esta carrera. A mi papá, por exigirme ser una gran profesional y no dejar de luchar por mis sueños. A mi mamá, por sus palabras de aliento que me ayudaron a enfrentar las adversidades. A mi hermana, que, aunque a la distancia, siempre me acompañó en cada momento. Cada logro en mi vida es por y para ustedes.

A mis tíos, por brindarme un refugio y ser como padres durante mi carrera universitaria. A mi abuelita, por su apoyo incondicional y su cariño. A todos los miembros de mi familia que se preocuparon por mí y me ofrecieron una mano.

A Felipe, mi amigo y compañero de tesis, por su paciencia, risas, consejos y las aventuras compartidas en esta etapa universitaria. Y A mi mejor amigo, Duvan, por su apoyo constante a lo largo de toda la carrera

Daniela Yuliana Carvajal Lozano

Dedicatoria

A mi madre Martha y a mi padre Argemiro, cuyo esfuerzo, dedicación y entrega se ven reflejados en este trabajo. Gracias por ser un apoyo incondicional, por sus consejos, oraciones y acompañamiento en esta vida. Espero tenerlos muchos más años junto a mí.

A mi hermano Nicolas, mi alma gemela literalmente. Por ser mi compañero hasta este momento en casi todas las etapas de mi vida.

A mi familia Probst, por su apoyo constante y su aliento durante este proceso. Doy gracias por las innumerables muestras de cariño y apoyo que me han dado. Su respaldo ha sido fundamental para superar desafíos y avanzar con confianza.

A mis amigos, que han estado conmigo en los momentos de alegría y también en los desafíos, Gracias por ser un pilar de fortaleza y brindarme su amistad sincera. Especialmente para Angelica y María Andrea que aún siguen estando muy presente en mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a Daniela, mi compañera de tesis, por depositar en mí una confianza al realizar este trabajo juntos y por todos los momentos que hemos compartido juntos.

Felipe Navarro Probst

Agradecimientos

Al profesor Luis Enrique Lambis Benítez, por el acompañamiento, especial dedicación y disponibilidad que hicieron posible el desarrollo de este trabajo del cual nos sentimos orgullosos. Gracias por ser un profesor comprometido, cuya guía y conocimientos fueron fundamentales para alcanzar nuestros objetivos. Su paciencia y apoyo constante nos inspiraron a dar lo mejor de nosotros en cada etapa del proceso.

A nuestra alma mater por brindarnos los espacios y las oportunidades de crecimiento académico y personal que han sido pieza fundamental en nuestro desarrollo personal y profesional.

Tabla de contenido

Introducción	10
1. Objetivos.....	12
1.1 Objetivo General.....	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Estado del arte.....	13
3. Metodología.....	15
3.1 Diagnostico de las estrategias de gestión y aprovechamiento del lactosuero.....	15
3.2 Identificación de alternativas tecnológicas de valorización del lactosuero	17
3.3 Diseño plan tecnológico.....	19
4. Resultados	20
4.1 Diagnostico de las estrategias de gestión y aprovechamiento del lactosuero en las pequeñas y medianas empresas en la ciudad de Bucaramanga.	20
4.2 Identificación de alternativas tecnológicas de valorización del lactosuero	28
4.3 Diseño plan estratégico.....	32
5. Conclusiones.....	38
6. Recomendaciones	39
Referencias Bibliográficas	40

Lista de Figuras

Figura 1 Esquema metodológico desarrollado durante el trabajo.....	15
Figura 2 Productos lácteos elaborados por las empresas encuestadas	21
Figura 3 Relación de producción de lactosuero por producto elaborado.....	21
Figura 4 Nivel de conocimiento del lactosuero por las medianas y pequeñas empresas lácteas.....	22
Figura 5 Formas de disposición final del residuo.....	23
Figura 6 Técnicas de gestión del lactosuero empleadas por las empresas.....	24
Figura 7 Resultados de producción de lactosuero divididas en dos grupos.....	25
Figura 8 Rangos de inversión tecnológica en las pymes lácteas	26
Figura 9 Rangos de inversión tecnológica en las pymes lácteas	27
Figura 10 Diagrama de flujo de los artículos incluidos en la revisión bibliográfica	30
Figura 11 Distribución de artículos por año de publicación.....	31
Figura 12 Distribución geográfica de los artículos seleccionados.....	32

Lista de Tablas

Tabla 1	Preguntas realizadas en el diagnostico.....	16
Tabla 2	Tabla de doble entrada utilizada para la construcción de las ecuaciones de búsqueda .	17
Tabla 3	Escala de importancia	20
Tabla 4	Alternativas de Ecuaciones de búsqueda	28
Tabla 5	Ecuaciones de búsqueda utilizadas en el marco del trabajo de grado.....	29
Tabla 6	Tecnologías para la valorización del lactosuero.	33
Tabla 7	Matriz base para la selección de alternativas.	32
Tabla 8	Comparaciones pareadas requeridas	33
Tabla 9	Matriz de comparación: Costo	34
Tabla 10	Matriz de comparación completa: Costo	35
Tabla 11	Matriz de comparación: Lactosuero.....	35
Tabla 12	Matriz de comparación: Espacio.....	36
Tabla 13	Matriz de comparación: Criterios	36
Tabla 14	Matriz de ponderación resultante	37

Resumen

Título: Evaluación de alternativas tecnológicas para la valorización del lactosuero en medianas y pequeñas empresas lácteas mediante una revisión bibliográfica*

Autor: Daniela Yuliana Carvajal Lozano y Felipe Navarro Probst**

Palabras Clave: Lactosuero, Pymes, Valorización, Diagnostico, Plan tecnológico

Descripción: El suero lácteo, un subproducto generado en grandes volúmenes en Colombia, a menudo se convierte en un contaminante debido a la falta de alternativas tecnológicas para su manejo, incrementando la demanda biológica de oxígeno en las fuentes hídricas. Este artículo de investigación tiene como objetivo recopilar información sobre cómo las empresas lácteas de Bucaramanga están gestionando este subproducto, a través de una encuesta dirigida a pequeñas y medianas empresas (PYME). La investigación busca indagar las diferentes alternativas tecnológicas que podrían implementarse en cada empresa para optimizar la valorización del lactosuero. La metodología empleada incluyó una búsqueda, selección y revisión bibliográfica sobre los aspectos más relevantes del lactosuero y las posibles vías para su valorización. La revisión permitió identificar dos principales alternativas tecnológicas viables para las pymes: la biotecnología y las tecnologías de separación por membranas. Se estableció un sistema de selección tecnológica basado en el método AHP (Analytic Hierarchy Process), que facilita la elección de la mejor estrategia tecnológica en función del costo de inversión, el espacio disponible y la cantidad de lactosuero necesario para obtener los productos deseados. La implementación de estas alternativas no solo puede aumentar la rentabilidad de las empresas lácteas, sino también reducir la contaminación ambiental y ofrecer soluciones sostenibles.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Luis Enrique Lambis Benítez. Título académico completo de mayor rango. Codirector: Robin Alexis Cristancho Perilla

Abstract

Título: Evaluación de alternativas tecnológicas para la valorización del lactosuero en medianas y pequeñas empresas lácteas mediante una revisión bibliográfica*

Authors: Daniela Yuliana Carvajal Lozano y Felipe Navarro Probst**

Keywords: Whey, SMEs, Valorization, Diagnosis, Technological Plan

Abstract: Whey, a by-product generated in large volumes in Colombia, often becomes a pollutant due to the lack of technological alternatives for its management, increasing the biological oxygen demand in water sources. This research paper aims to gather information on how dairy companies in Bucaramanga are managing this by-product through a survey directed at small and medium-sized enterprises (SMEs). The research seeks to explore different technological alternatives that could be implemented in each company to optimize whey valorization. The methodology employed included a search, selection, and literature review on the most relevant aspects of whey and possible avenues for its valorization. The review identified two main viable technological alternatives for SMEs: biotechnology and membrane separation technologies. A technology selection system was established based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, which facilitates the choice of the best technological strategy based on investment cost, available space, and the amount of whey needed to obtain the desired products. The implementation of these alternatives can not only increase the profitability of dairy companies but also reduce environmental pollution and offer sustainable solutions.

*Degree Work

**Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Prof. Luis Enrique Lambis Benítez. Co-director: Robin Alexis Cristancho Perilla

Introducción

Según las proyecciones presentadas en el informe “Perspectivas agrícolas 2021-2031” por la OECD/FAO, se estima un crecimiento anual del 1.8% en la producción mundial de leche durante los próximos 10 años, alcanzando un valor de 1060 Megatoneladas para el 2031 (OCDE, 2023). Dicha tendencia se refleja en la industria láctea colombiana, que ha logrado posicionarse como el cuarto mayor productor de la región en América Latina (Carrillo, 2021). En Colombia, la industria está presente en 22 de los 32 departamentos del país, destacando regiones como Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Nariño (ANEIA, 2017). Según datos reportados por la Superintendencia de Sociedades, en Colombia operan alrededor de 2400 empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos, de las cuales aproximadamente el 55% son medianas y pequeñas empresas (larepublica,2021).

En los últimos años, las empresas con mayor producción del sector lácteo han afrontado con éxito el desafío de valorizar el lactosuero mediante la implementación de procesos avanzados de separación, desmineralización y secado de este subproducto. Como resultado de estos esfuerzos, se han obtenido ingredientes de alto valor agregado como las bebidas fermentadas, proteínas y concentrados de suero, que se utilizan como materias primas en la industria alimentaria y farmacéutica (Correa & Mosquera, 2015). Esta estrategia ha permitido maximizar la utilización del lactosuero, generando productos de alta calidad y reduciendo de manera significativa los impactos ambientales negativos asociados a su gestión (Rodríguez et al., 2016)

Actualmente se presenta una problemática recurrente en la industria láctea específicamente en las *pymes* (Pequeñas y medianas empresas lácteas), generado por el desaprovechamiento del lactosuero resultante de la producción de quesos, yogurt griego y requesón. El lactosuero contiene aproximadamente 25% de las proteínas de la leche, 8% de materia grasa y alrededor del 95% de

la lactosa. En Colombia el porcentaje de aprovechamiento del lactosuero es aproximadamente un 10% en las pequeñas y medianas empresas (Navas, 2012). Esto se debe a que las prácticas tradicionales adoptadas para la gestión del lactosuero, como la alimentación animal y el vertimiento en cuerpos de agua, son responsables de problemas ambientales como la eutrofización, la acidificación y la liberación de olores (Ramos et al., 2014). Por ende, es de suma importancia la implementación de alternativas para el aprovechamiento del lactosuero, como lo son la producción de bebidas fermentadas, concentrados proteicos y la obtención de bioetanol (Spalvins et al., 2017).

La implementación de estas técnicas a menudo se ve limitada por factores económicos, tecnológicos y de infraestructura. Las inversiones iniciales en equipos y tecnología pueden ser prohibitivas para empresas de menor escala. Además, la falta de conocimiento técnico y la escasa formación en gestión de subproductos pueden obstaculizar la adopción de estas prácticas. A pesar de los beneficios potenciales, la adaptación y aplicación de tecnologías de valorización del lactosuero sigue siendo un desafío para muchas pequeñas y medianas empresas (Espinosa et al., 2020).

En ese contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Se reportarán en la bibliografía alternativas tecnológicas de gestión y valorización del lactosuero que se pueden ajustar a las pequeñas y medianas industrias del sector lácteo colombiano?

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar alternativas tecnológicas de valorización del lactosuero adaptables a pequeñas y medianas empresas lácteas de Bucaramanga mediante una revisión bibliográfica.

1.2 Objetivos Específicos

Realizar un diagnóstico de las estrategias de gestión y aprovechamiento de lactosuero en pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Bucaramanga.

Identificar alternativas tecnológicas de valorización del lactosuero con potencial de aplicación a pequeñas y medianas empresas del sector lácteo mediante revisión bibliográfica.

Elaborar un plan estratégico de implementación tecnológica adaptado a distintas necesidades y oportunidades identificadas para medianas y pequeñas empresas del sector lácteo de Bucaramanga

2. Estado del arte

El Codex alimentarius define al lactosuero o suero de leche como un subproducto lácteo obtenido de la separación del coágulo de la leche, crema o leche semidescremada durante la fabricación del queso (Organización Mundial de la Salud,2007). Anteriormente los países desarrollados destinaban el suero para la alimentación animal de forma directa. No obstante, hoy en día, el lactosuero y sus derivados son ingredientes que están ganando cada vez más terreno en diferentes áreas de la industria. Esto motivó a cambiar su clasificación, y pasó de ser un “desecho” a ser un “coproducto”; de ahí la importancia de generar un portafolio de aplicaciones industriales.

Ramírez y Solís (2017) estudiaron las tecnologías de membrana para la obtención de proteínas de lactosuero, cuyo fundamento es la separación por diferencia de los pesos moleculares y tamaños de partícula, sugiriendo una variedad de métodos para su aplicación. Por consiguiente, el documento se enfoca en las proteínas que se pueden obtener y considera tres tecnologías potencialmente factibles para la valorización del lactosuero: Microfiltración, Ultrafiltración, y Nanofiltración. Se establecieron criterios de presión y tamaño de poro adecuados para el funcionamiento en cada membrana. Finalmente, concluyeron que la ultrafiltración es una de las mejores alternativas para la separación de proteínas y péptidos. Sin embargo, para lograr mejores resultados se recomienda acompañar con otras tecnologías de membranas (Ramírez et al., 2017).

Por otro lado, Navas (2011) ahondó en el aprovechamiento industrial del lactosuero mediante procesos fermentación. Tecnología que ha ganado importancia en los últimos años, ya que permite obtener una amplia gama de productos que van desde biomasa o proteína unicelular, hasta solventes o insecticidas. El autor informa que, para convertir el lactosuero en una materia prima útil para la fermentación es necesario realizar un fraccionamiento previo. Dentro de las alternativas propuestas para el fraccionamiento se encuentran hidrólisis y desmineralizado de

lactosa. También realizó una revisión bibliográfica, en donde se evidencia la relación existente entre el tipo de microorganismo y el producto obtenido. Por último, se consideran las transformaciones biotecnológicas del lactosuero, especialmente las fermentativas como las más recomendadas para alcanzar el mayor potencial de este insumo (Navas, 2011)

Finalmente, los autores Nafar y Ortiz (2021) basaron su estudio en diversas alternativas para la valorización del lactosuero. Las tecnologías analizadas incluyen celdas de combustible microbianas, que operan a temperaturas moderadas y permiten la generación de energía eléctrica a partir de la materia orgánica del lactosuero. La digestión anaerobia, se lleva a cabo en digestores a temperaturas controladas, favoreciendo la producción de biogás y biofertilizantes. Además, se exploró la hidrólisis enzimática, la cual requiere condiciones específicas de pH y temperatura para descomponer la lactosa en azúcares simples, utilizando componentes del lactosuero para producir polímeros biodegradables mediante la polimerización.

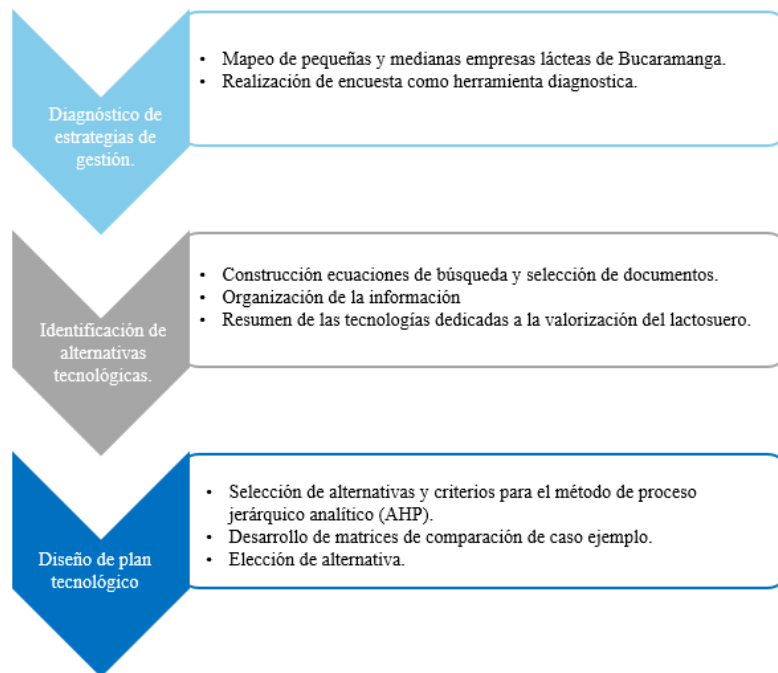
De acuerdo con el Dane (2016), las Pymes en Colombia son definidas como empresas con menos de 200 empleados y activos totales que no exceden 30.000 salarios mínimos mensuales vigentes. En la industria láctea, el manejo del lactosuero es un desafío significativo para estas empresas. A pesar de existir tantas alternativas para la gestión y valorización del lactosuero, el destino final de este subproducto sigue siendo en su mayoría vertidos en cuerpos de agua o suelos. Este contexto resalta la necesidad de brindar soluciones específicas y adaptadas a las capacidades y limitaciones de las Pymes lácteas, con el fin de mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de sus subproductos.

3. Metodología

A continuación, en la figura 1, se presenta un esquema que describe la metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo.

Figura 1

Esquema metodológico desarrollado durante el trabajo



3.1 Diagnóstico de las estrategias de gestión y aprovechamiento del lactosuero

En esta etapa se realizó una encuesta dirigida a las medianas y pequeñas empresas lácteas de Bucaramanga, con el objetivo de obtener información general relacionado al lactosuero y su aprovechamiento dentro de la dinámica de producción de este subproducto. Para ello, se diseñó un cuestionario de 7 preguntas que proporciona información clave en torno al manejo del lactosuero mediante los siguientes parámetros: nivel de conocimiento, estrategias de gestión del residuo, cantidades aproximadas de generación, y la capacidad de inversión de las empresas. Presentados a continuación en la tabla 1.

Tabla 1

Preguntas realizadas en el diagnóstico

<u>Encuesta a las medianas y pequeñas empresas lácteas de Bucaramanga y su área metropolitana</u>	
1.	De acuerdo con su proceso industrial ¿cuáles productos obtiene su empresa?
2.	¿Está usted familiarizado con el concepto de Lactosuero y lo reconoce como un subproducto de la industria láctea?
3.	¿Cuál es la cantidad de litros por semana de lactosuero producida en su empresa?
	Entendiendo gestión como: la metodología utilizada para hacerse cargo de dicho residuo (Lactosuero)
5.	¿Podría detallar las estrategias o prácticas utilizadas para gestionar el subproducto lactosuero?
6.	¿Qué procesos emplean para la obtención de los productos mencionados anteriormente?
7.	De los siguientes rangos de inversión. ¿Cuál se aproxima al rubro que tiene la organización a la que pertenece?

La población objetivo para el diagnóstico está conformado por Pymes (pequeñas y medianas empresas) lácteas de Bucaramanga, para su identificación se consultó la página web de la cámara de comercio. Mediante el uso del filtro “elaboración de productos lácteos” se mapearon los posibles candidatos, de los cuales finalmente fueron seleccionadas 20 empresas mediante el filtro “tamaño de las empresas”. Siendo las pequeñas y medianas empresas la población objetivo para este trabajo.

El cálculo del tamaño de la muestra (n) se realizó mediante la ecuación 1, en donde se tuvo las siguientes consideraciones: un nivel de confianza del 90% (Z) y un margen de error (E) aproximado del 10%. Para que el muestreo sea significativo, se determinó necesario encuestar aproximadamente 17 de las 20 empresas en total.

Ecuación 1

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Para la realización de la encuesta, se contactó las empresas seleccionadas vía correo electrónico, considerando un lapso pertinente de mes y medio para responder el formulario. La encuesta fue diseñada y distribuida mediante Google Forms, las respuestas fueron almacenadas automáticamente en la plataforma. Esto facilitó su posterior análisis con la herramienta Excel.

3.2 Identificación de alternativas tecnológicas de valorización del lactosuero

La identificación de alternativas tecnológicas potenciales para la aplicación en Pymes se dividió en tres actividades. Construcción de las ecuaciones de búsqueda, organización de la información y la síntesis de las tecnologías dedicadas a la valorización del lactosuero.

Las ecuaciones de búsqueda se diseñaron utilizando combinaciones de palabras claves que se identificaron mediante una tabla de doble entrada. Esta herramienta permite relacionar palabras clave con términos o sinónimos asociados, facilitando la combinación de conceptos relevantes presentados en la tabla 2. Las dos palabras claves “Lactosuero” y “Proceso”, se determinaron como resultado de una revisión bibliográfica previa. Finalmente, se utilizó el operador booleano And como herramienta de condicionamiento de la búsqueda.

Tabla 2

Tabla de doble entrada utilizada para la construcción de las ecuaciones de búsqueda

Variable	Sinónimos	Keyword
Lactosuero	Suero de leche Residuo Industrial Subproducto Lácteo	Whey Industrial Waste Dairy Waste
Proceso	Process Transformación Tratamiento	Process Transformation Treatment

Partiendo de la tabla 2, se desarrollaron ecuaciones de búsqueda a partir de las combinaciones entre las palabras claves identificadas “keyword”. Cada ecuación fue evaluada por la cantidad de documentos encontrados según lo sugerido por el estudio *la revisión de la literatura como metodología de investigación* (Snyder, 2019). Estableciendo un rango de 100 y 200 documentos por ecuación, aquellas ecuaciones que no cumplieran con dicho criterio fueron descartadas. Así mismo, se establecieron como criterios de inclusión y exclusión la selección de artículos científicos (Articles) y artículos de revisión (Review) publicados en inglés durante los últimos 10 años.

Para la siguiente actividad se seleccionó y organizó la información de acuerdo con una adaptación del protocolo Prisma (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses*) que facilitó la revisión de los diversos estudios relacionados con el tema de interés. Una vez ejecutadas las ecuaciones en Scopus y Web Science, los resultados se descargaron en formato CSV y se cargaron en el software Excel. Luego, se seleccionó la información teniendo en cuenta los siguientes filtros basados en el protocolo prisma: i) Eliminación de duplicados ii) revisión de títulos y iii) revisión de resúmenes).

Una vez seleccionados los artículos se organizaron en una matriz de Excel para clasificar la información obtenida, en donde se consideraron los siguientes elementos: Título, año de publicación, país de origen de la publicación, palabras claves y DOI. Con la herramienta Excel, se presentaron información relevante como distribución geográfica y temporal de los artículos, que nos proporcionara una visión de las tendencias y patrones en esta línea de investigación.

En la última actividad de esta etapa, se llevó a cabo el análisis de la información recopilada. Para ello, se leyó cada uno de los documentos seleccionados y posterior a ello, se clasificó la información según los siguientes criterios: producto, tipo de tecnología, sustrato,

microorganismos, condiciones de operación y descripción del proceso. Este análisis permite comprender en detalle los hallazgos relacionados con la valorización del lactosuero y su relevancia para las pequeñas y medianas empresas lácteas de Bucaramanga.

3.3 Diseño plan tecnológico

Con el fin de suministrar posibles soluciones a la problemática de valorización encaminada en pymes lácteas, se recopilieron algunas alternativas que podrían dar respuesta a futuros casos de aplicación de este trabajo. Para ello, se diseñaron un plan estratégico usando el método de proceso jerárquico analítico (AHP), el cual se considera como una de las técnicas más completas y efectivas para la simplificación de toma de decisiones.

Para la implementación del AHP es necesario tener claridad sobre las alternativas consideradas para la valorización del lactosuero y los criterios a evaluar. Se propusieron en total 3 alternativas de valorización del lactosuero, resultantes de la revisión bibliográfica realizada en la fase anterior. En cuanto a los criterios para la toma de decisión se establecieron mediante la información obtenida de las empresas encuestadas en la fase 1, presentadas a continuación:

Costo: Corresponde a la inversión económica que se debe realizar por las empresas para la adquisición de las tecnologías consideradas.

Requerimiento de lactosuero: Corresponde a la cantidad del subproducto necesario para producir cierta cantidad determinada de producto.

Requerimiento de espacio: Este criterio se ajusta a las limitaciones de la empresa y operaciones unitarias necesarios por tecnología.

Posteriormente se tuvo en cuenta la escala de importancia relativa propuesta por Thomas Saaty, detallada en la tabla 3.

Tabla 3

Escala de importancia

Valor numérico	Definición
1	Igual de importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia fuerte
7	Importancia muy fuerte
9	Absolutamente importante

Se establecieron los niveles de importancia usados en la calificación de los criterios y alternativas en el desarrollo de las matrices de comparación. Esta escala se divide en 5 niveles, siendo 1 el nivel inferior en importancia y 9 el superior en importancia.

También se requiere calcular el número de comparaciones entre las tecnologías, mediante la ecuación 2, Siendo n el rango de la matriz.

Ecuación 2

$$\frac{n * (n - 1)}{2}$$

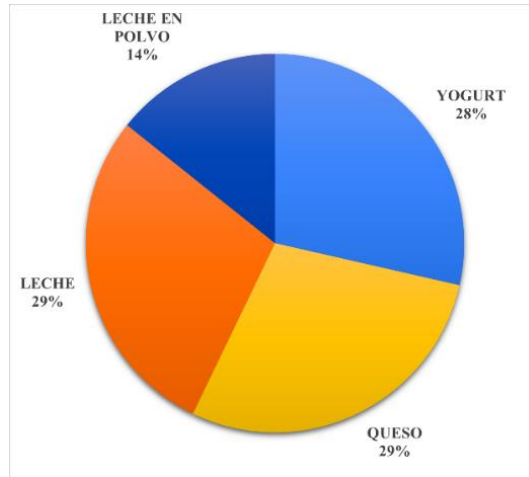
Finalmente, se propuso una plantilla de matrices construida en Excel, con la cual se realizó el paso a paso del diligenciamiento de estas, con el objetivo de ofrecer una ejemplificación en el desarrollo del plan estratégico para futuras aplicaciones.

4. Resultados**4.1 Diagnóstico de las estrategias de gestión y aprovechamiento del lactosuero en las pequeñas y medianas empresas en la ciudad de Bucaramanga.**

El punto de partida consistió en conocer los productos obtenidos por las empresas encuestadas, presentados en la figura 2.

Figura 2

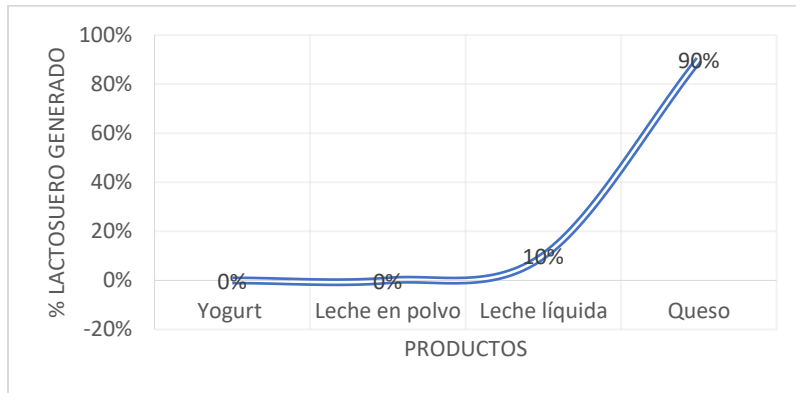
Productos lácteos elaborados por las empresas encuestadas



Según los resultados ilustrados en la Figura 2, las actividades predominantes son la producción de queso y leche, seguidas en menor cantidad por la producción de yogurt y leche en polvo. Este comportamiento se debe principalmente a la alta demanda y facilidad de producción del queso y leche con respecto a los otros productos. Según un estudio realizado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2020), una empresa destinó el 44% de su producción total de leche a la elaboración de distintos tipos de quesos, el 29% a la producción de leche fluida, el 20% a la fabricación de leche en polvo y el porcentaje restante a otros productos. Cabe resaltar que, aunque en la elaboración de leche en polvo y yogurt no se genera lactosuero, la producción de queso está directamente asociada con la obtención de este subproducto, como se observa en la figura 3. Con una relación de 10 litros de lactosuero por cada kilogramo de queso fresco obtenido.

Figura 3

Relación de producción de lactosuero por producto elaborado

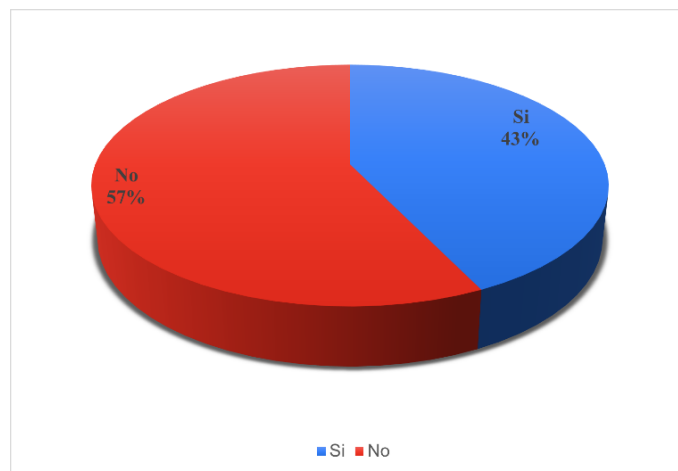


Los resultados obtenidos de las encuestas previamente realizadas muestran la elaboración de queso como la actividad más utilizada en las pequeñas empresas, ya que su producción no requiere tecnologías específicas avanzadas. Sin embargo, se resalta que la producción de queso, aunque es accesible, es la responsable de generar grandes cantidades de lactosuero.

Por otro lado, es necesario conocer el nivel de conocimiento que estas empresas tienen sobre este subproducto presentada en la figura 4.

Figura 4

Nivel de conocimiento del lactosuero por las medianas y pequeñas empresas lácteas.



En la figura 4, se evidencia que una parte significativa de las empresas no están familiarizadas con este subproducto. Esta afirmación es respaldada por 57% que desconocen el

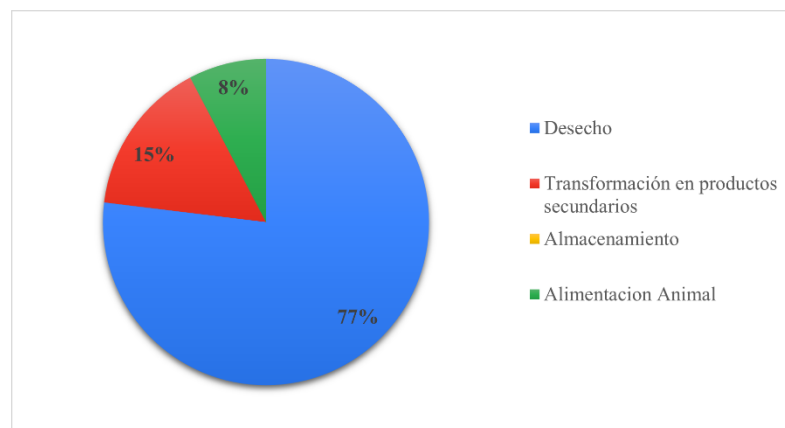
concepto de lactosuero como un producto derivado en su proceso de producción. Esto es comprensible, dado que las pequeñas y medianas empresas suelen basar su producción en conocimientos empíricos transmitidos de generación en generación. Dicha situación es similar en el estudio realizado por Trejo y Zúñiga (2015), en donde el 90% de la leche es procesada por productores que en su mayoría utilizan sistemas rudimentarios de producción.

Aunque la encuesta reveló un desconocimiento generalizado sobre el lactosuero, muchas empresas lo reconocen y gestionan adecuadamente. Un ejemplo es la empresa de Quesillos Armero Guayabal, que transforma el lactosuero en suero concentrado y bebidas fermentadas (Nafar & Ortiz, 2021).

En la figura 5 se presentan las prácticas utilizadas para la disposición del lactosuero, destacando como la opción más común el desecho del lactosuero.

Figura 5

Formas de disposición final del residuo.



Si bien la alimentación animal ha sido una alternativa tradicional de gestión en comparación con el desecho directo, su uso está disminuyendo debido a su capacidad limitada para adsorber grandes volúmenes de lactosuero y a los efectos adversos en la salud animal (Gonzales *et al.*, 2017). Sin embargo, el desecho sin control sigue siendo la forma más frecuente de

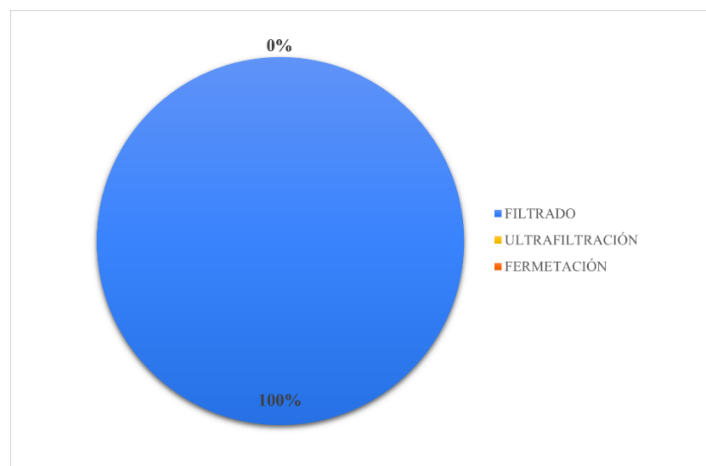
disposición del lactosuero practicada por el 77% de los participantes, siendo la responsable de problemas ambientales como la eutrofización, acidificación y malos olores.

En contraste, solo el 15% de las empresas encuestadas están explorando la transformación del lactosuero en productos secundarios, convirtiéndose en el escenario ideal para su gestión debido a su potencial. Las practicas más recurrentes en las pymes lácteas fueron la alimentación animal con un 65% y el vertimiento sin control con un 35% (Cebrián *et al.*, 2016)

En los últimos años se han desarrollado importantes tendencias tecnológicas para su aprovechamiento óptimo, transformando al lactosuero en un componente con gran potencial (López, 2018). La adquisición de dichas tecnologías representa una inversión considerable, que muchas pymes no pueden asumir. Por esta razón, se consideró conveniente identificar las técnicas que actualmente están utilizando para transformar el suero, detalladas en la figura 6.

Figura 6

Técnicas de gestión del lactosuero empleadas por las empresas



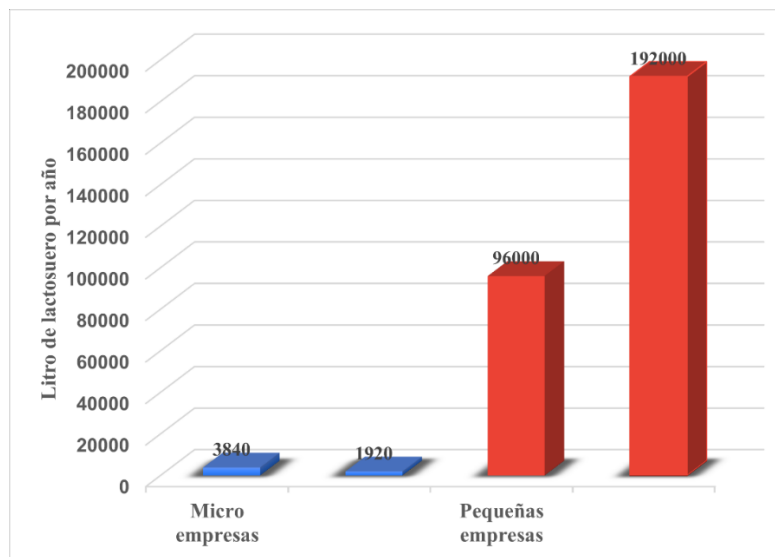
Se constató que los procesos de fermentación y ultrafiltración no se utilizan en estas empresas. En su lugar, la figura 6 posiciona la filtración como el único método adoptado por las Pymes para la transformación del lactosuero. El elevado costo de inversión en equipos e

infraestructura necesarios para los procesos de fermentación y ultrafiltración ha limitado su adopción. En cambio, la filtración ha sido implementada como una solución más económica para el procesamiento del lactosuero en queso ricota, gracias a sus bajos costos de implementación y operación. Un caso comparable se presenta en Argentina, donde, a pesar de contar con tecnologías avanzadas como ultrafiltración y nanofiltración, las empresas del proyecto se restringen a almacenar, desnatar o enfriar el subproducto obtenido (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2022).

En cuanto a las cantidades de lactosuero producida por las empresas encuestadas, se detallan en la figura 7.

Figura 7

Resultados de producción de lactosuero divididas en dos grupos.



Del muestreo estadístico se obtuvo los siguientes datos de producción de lactosuero, los cuales están directamente relacionados con el número de trabajadores que tiene cada empresa. Por consiguiente, los datos fueron agrupados en dos grupos. El primer grupo, compuesto por microempresas con una producción anual de 2,000 y 4,000 litros. Mientras que el segundo grupo, formado por pequeñas empresas producen entre 100,000 y 195,000 litros al año.

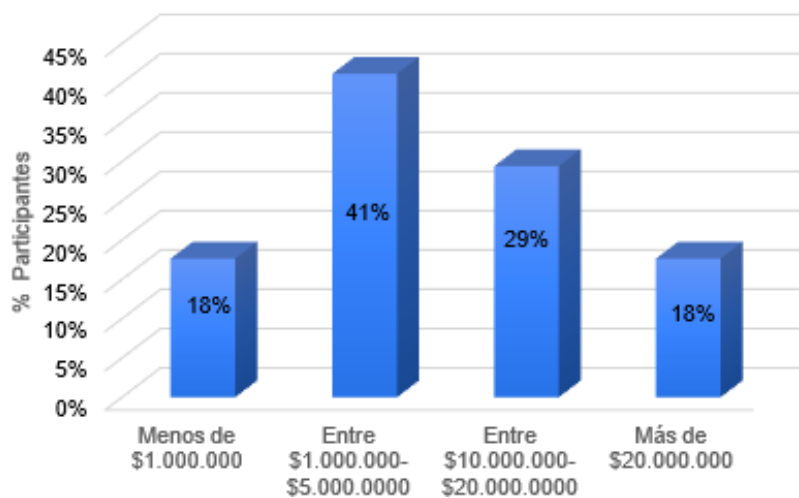
Un escenario similar se presenta en un estudio realizado en la comunidad autónoma del país Vasco, donde del total de las empresas participantes un 70% producen menos de 50.000 litros por año, cerca de un 25% producen cantidades aproximadas a los 500.000 litros por año y finalmente solo un 5% logra la cantidad de 10.000.000 de lactosuero por año (Cebrián *et al.*, 2016).

Otra área clave en el diagnóstico fue identificar los rangos de inversión con los que las empresas cuentan. En la figura 8, se presentan los datos distribuidos en 4 categorías de inversión.

En los extremos de la gráfica, un 18% de las Pymes poseen menos de \$1.000.000. Un pequeño rubro dedicado a la inversión tecnológica, lo que hace pensar que existen limitaciones financieras. Al mismo tiempo, otro 18% poseen la cantidad más significativa en inversión, sugiriendo mayor capacidad financiera y una estrategia encaminada a la innovación. Por otro lado, 41% y 29% de las pymes poseen un rubro con rangos intermedios, encontrándose la mayor concentración de la muestra en el rango de \$1,000,000 y \$5,000.000.

Figura 8

Rangos de inversión tecnológica en las pymes lácteas



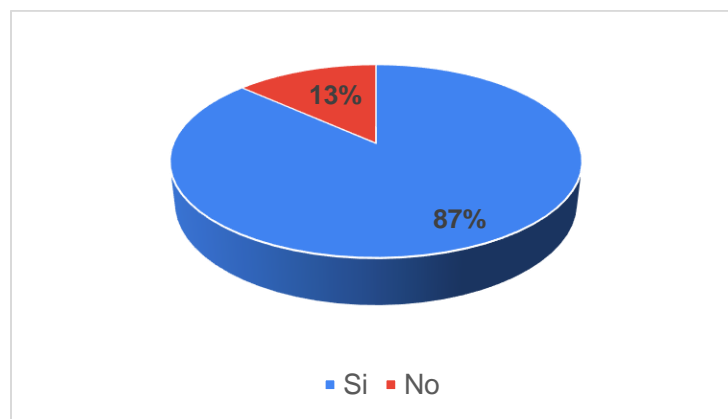
Esta tendencia refleja la falta de grandes sumas de dinero asignadas a la inversión, una situación que está vinculada a las dificultades que enfrentan las pymes al solicitar préstamos debido a los altos requisitos y garantías exigidas por las instituciones financieras. Según un estudio realizado en América Latina; en Colombia; el acceso al financiamiento es el tercer obstáculo más importante para los empresarios (luego de la violencia y los impuestos).

Esto se debe a los altos costos del sistema financiero asociados a la relación entre el tamaño del crédito y los costos fijos de los bancos, la concentración de los préstamos en los conglomerados empresariales, entre otras razones (Zevallos, 2006)

Antes esta situación se indagó el interés de crear o utilizar rubros de inversión tecnológica para la valorización del lactosuero, presentada en la figura 9.

Figura 9

Rangos de inversión tecnológica en las pymes lácteas



En donde el 87% de los encuestados manifestó su interés en esta alternativa, mientras que solo un 13% indicó no lo considero viable. Este resultado es importante, ya que revela la disposición de las Pymes lácteas para explorar y valorizar un subproducto que tradicionalmente se desechaba. Ahora considerado como una oportunidad para desarrollar nuevos productos con valor agregado, contribuyendo así a la disminución de desperdicios y practicas más sostenible.

4.2 Identificación de alternativas tecnológicas de valorización del lactosuero

Aplicando el plan metodológico se construyeron las alternativas de las ecuaciones de búsqueda consideradas en este estudio. A continuación, en la tabla 4 se detallan las alternativas de ecuación. En donde se buscó obtener un total de 3 ecuaciones para el desarrollo de la revisión bibliográfica.

Tabla 4

Alternativas de Ecuaciones de búsqueda

ID	Ecuación	Scopus	Wos
A	Whey AND Transformation	107	189
B	Whey AND Treatment	3.451	3.369
C	Whey AND Process	3.413	3.547
D	Industrial Waste AND Whey AND Process	102	99
E	Industrial Waste AND Whey AND Treatment	63	28
F	Industrial Waste AND Whey AND Transformation	4	1
G	Dairy Waste AND Treatment	158	150
H	Dairy Waste AND Process	80	99
I	Dairy Waste AND Transformation	4	9

En la tabla 4, se observa que las opciones B y C cuentan con una gran cantidad de artículos por considerar. Por otro lado, las opciones E, F, H e I no logran superar los 100 documentos. Por último las alternativas A, D y G cuentan con una cantidad intermedia entre 100 y 200 artículos. Para las alternativas que superaron los 1.000 documentos, se consideraron no adecuadas para una revisión bibliográfica. Según Donthu, estas cantidades de artículos son más apropiadas para el desarrollo de estudios bibliométricos. Por el contrario, las opciones con menos de 100 documentos no proporcionan una amplia visión del tema, limitando la capacidad de realizar un análisis. El autor sugiere un rango adecuado para la revisión bibliográfica que oscila entre 100 y 200 documentos (Donthu, 2021).

Mediante el análisis anterior, se seleccionaron las ecuaciones A, D y G, las cuales fueron usadas como búsqueda avanzada en las bases de datos de Scopus y Web of Science presentada en la tabla 5.

Tabla 5

Ecuaciones de búsqueda utilizadas en el marco del trabajo de grado

n	Ecuaciones de búsqueda Bases de datos	Resultados	
		Scopus	Wos
1	Whey AND Transformation	107	189
2	Industrial Waste AND Whey AND Process	102	99
3	Dairy Waste AND Treatment	158	150
Total		805	

Los documentos obtenidos en la búsqueda inicial fueron sometidos a diferentes etapas de filtración basados en el protocolo Prisma, detalladas a continuación:

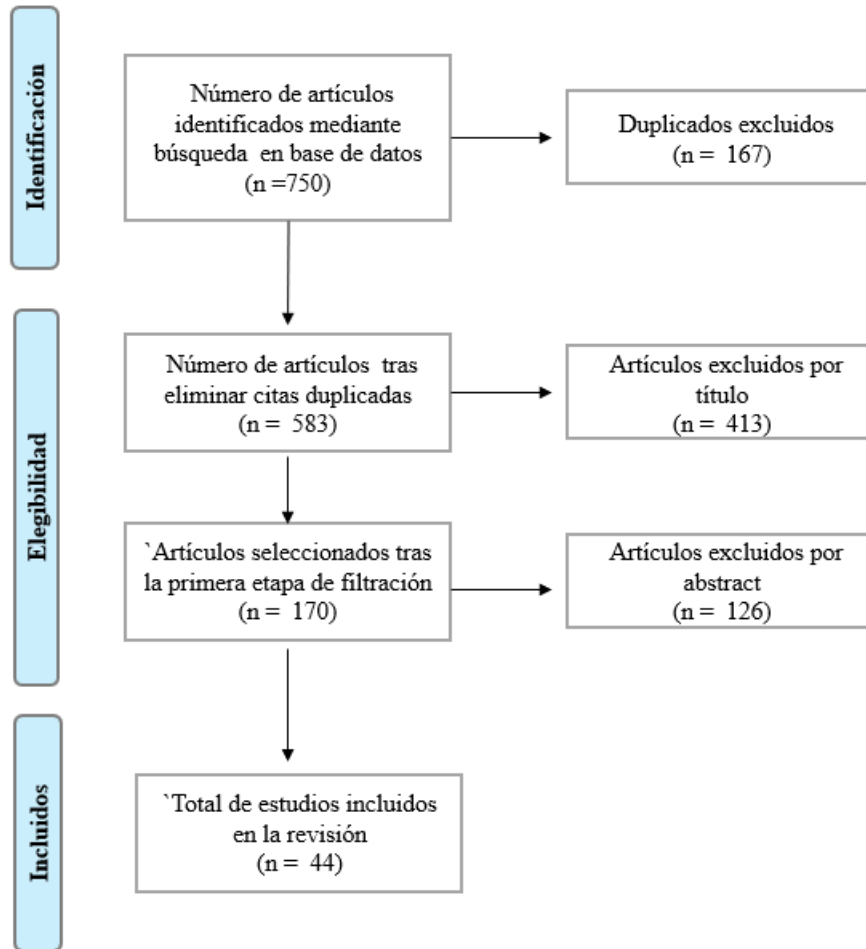
Filtro por Título: En esta etapa, se realizó una lectura de los títulos de cada artículo, tras eliminar 180 documentos duplicados. De un total de 625 documentos revisados, se descartaron 450 artículos cuyos títulos no hacían mención explícita al uso de procesos o tecnologías para la valorización del lactosuero. Como resultado, se identificaron y seleccionaron 175 artículos para la siguiente fase.

Filtro por Resumen: En la segunda etapa, se examinaron los resúmenes de los 170 artículos seleccionados previamente. A través de una lectura detallada, se descartaron 131 artículos que no abordaban la obtención de otros productos mediante la valorización del lactosuero.

En la Figura 10 se muestran las etapas y resultados de los procesos de filtración según el protocolo PRISMA.

Figura 10

Diagrama de flujo de los artículos incluidos en la revisión bibliográfica



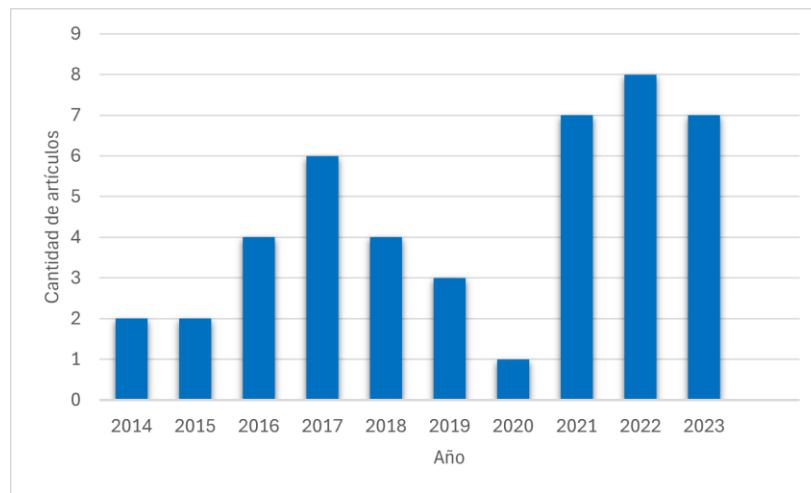
Tras completar el proceso de búsqueda, filtrado y selección, se identificaron 44 artículos relevantes para la investigación. Este número de artículos se encuentra dentro del rango de documentos considerados en estudios similares. Por ejemplo, Castro en su revisión de *los avances tecnológicos e ingenieriles sobre el aprovechamiento del lactosuero*, consideró 69 documentos finales para su estudio (Castro, 2022). De manera similar, Gómez fundamentó su estudio

Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero, tras la revisión de un total de 30 artículos (Gómez & Sanchez,2019).

En la figura 11, se presenta el comportamiento temporal entre los años 2014 y 2023 de los 44 documentos seleccionados previamente.

Figura 11

Distribución de artículos por año de publicación

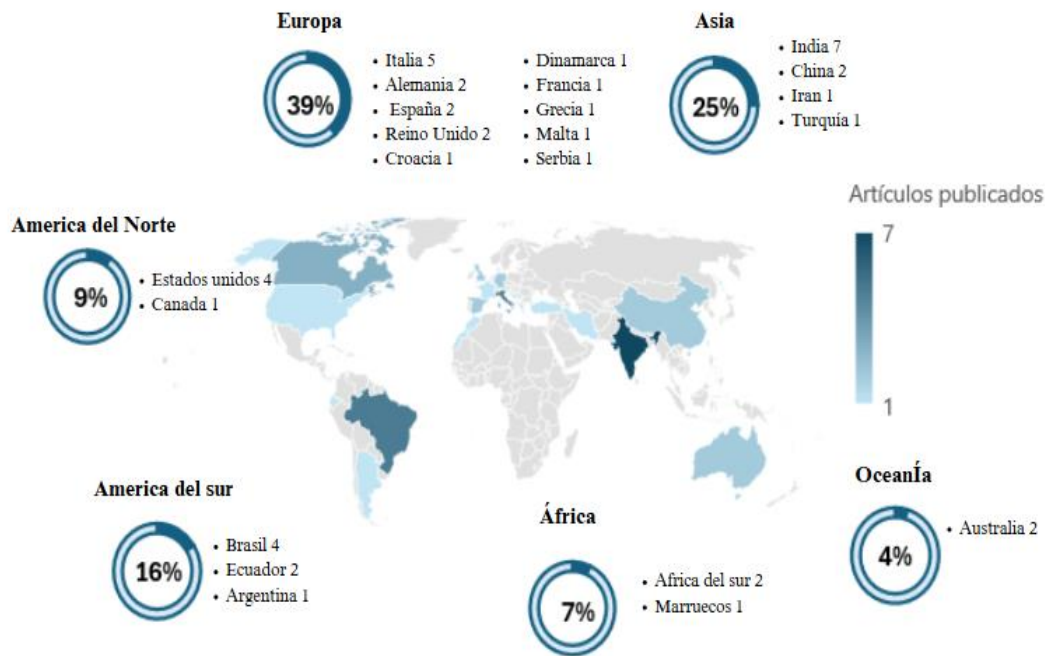


Entre los primeros años se evidencia un incremento de las publicaciones, alcanzando 6 artículos en el 2017. Durante los siguientes años las publicaciones relacionadas con este tema disminuyeron significativamente, destacando el año 2020 por registrar la menor cantidad de artículos publicados. Considerando la pandemia como la causante de dicha disminución. Finalmente, el periodo de 2021 a 2023 se caracterizó por tener la mayor cantidad de artículos publicados, lo que resalta el notable interés y actualidad sobre el tema estudiado.

Además, los artículos fueron clasificados de acuerdo con el país en el que fueron publicados, proporcionando una perspectiva geográfica de la distribución de las investigaciones. Esta clasificación se presenta de manera gráfica en la Figura 12

Figura 12

Distribución geográfica de los artículos seleccionados



Destacando Europa como el continente que ha estado a la vanguardia en la investigación y la promoción de la valorización del lactosuero, con un 39% de la literatura publicada. Específicamente, Italia contribuyó con 5 documentos siendo únicamente superado por India, quien hace parte del segundo continente con mayor participación. Estos resultados son acordes con los datos reportados por la FAO, en donde el gigante asiático es uno de los principales países productores de leche en el mundo (OCDE, 2023).

En América, la investigación relacionada con este tema está en desarrollo. Estados Unidos y Brasil han sido los países pioneros tanto en la investigación como en la comercialización de productos derivados de la leche, contribuyendo con 5 y 4 documentos respectivamente. En cambio,

en África y Oceanía la información es limitada. Por consiguiente, poseen la contribución más modesta en el estudio.

Es importante considerar el origen principal de las publicaciones relacionadas con la valorización del lactosuero. Ya que a partir de la cantidad de producción científica que proporcione un país sobre el tema, es posible aproximar el grado de desarrollo que tiene sobre este. Es así, como Colombia a pesar de tener un gran potencial en las pequeñas y medianas empresas lácteas, no se identifica ningún artículo relevante en este campo. Esta falta de conocimiento y desarrollo sugiere una necesidad urgente de iniciativas que impulsen la innovación tecnológica y el apoyo académico hacía estos sectores.

Tras realizada la revisión de la literatura científica seleccionada, se identificaron tecnologías para la valorización del lactosuero. En la tabla 6 se detalla la información.

Tabla 6

Tecnologías para la valorización del lactosuero.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA VALORIZACIÓN DEL LACTOSUERO 34

Producto	Tecnología	Sustrato	Microorganismo	Condiciones de operación	Descripción del proceso	Fuente
Etanol	Fermentación	Lactosuero	Kluyveromyces marxianus	Temperatura: 30-37 °C	El proceso inicia con un pretratamiento al lactosuero (fuente de carbono), con el objetivo de eliminar impurezas. Los microorganismos principalmente levaduras son capaces de fermentar la lactosa en etanol. La fermentación se realiza en un ambiente anaeróbico (sin oxígeno), Una vez completada la fermentación, el etanol producido se separa del medio de fermentación.	(Sar et al., 2021)
			Kluyveromyces lactis.	pH: 4.5-6.5		(Rajarajan et al.,2016)
Biohidrógeno	Fermentación Oscura	Lactosuero	Bacillus.	Tiempo de fermentación: 16 horas	El lactosuero se somete a un proceso de digestión anaeróbica, donde los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. 1. Hidrólisis: Los compuestos complejos se descomponen en azúcares simples 2. Acidogénesis: Los azúcares se convierten en ácidos volátiles y otros compuestos. 3. Acetogénesis: Los ácidos volátiles se transforman en hidrógeno y CO2	(Pescuma et al.,2015)
			Clostridium.	Concentración de etanol 8.64 g/L		(Gonzales et al.,2022)
Ácido láctico	Fermentación	Lactosuero	Lactobacillus	Temperatura: 30-45°C	El lactosuero se utiliza como medio de cultivo para bacterias lácticas que convierten la lactosa en ácido láctico. El proceso implica: 1. Crecimiento de bacterias: 2. Producción de ácido: A medida que las bacterias metabolizan la lactosa, producen ácido láctico y otros metabolitos, que pueden ser extraídos y purificados.	(Gonzales et al.,2022)
		Lactosuero (60% de lactosa)	Propionibacterim Lactobacillus rhamnosus B103	pH: 5.0 -6.5		(Sar et al., 2021)
				Tiempo de fermentación: 72 horas, 48 horas		(Djobo et al., 2022)
						(Fernández et al.,2017)
						(Pasotti et al.,2017)

Concentrado de Proteína de Suero (WPC). Aislado de Proteína de Suero (WPI).	Ultrafiltración (UF)	Lactosuero	NA	Tamaño de poro: 0.01 a 0.1 μm Presión: 2 a 10 Bar	La ultrafiltración utiliza membranas para separar las proteínas del lactosuero de la lactosa y otros componentes. El proceso se realiza en un sistema de filtración en flujo cruzado, donde el lactosuero se introduce y las proteínas se concentran en el lado de retención mientras que el permeado (jarabe de lactosa) se recoge.	(Ramirez et al.,2018) (Shahid et al.,2021)
Lactosa concentrada:	Nanofiltración (NF)	Lactosuero	NA	Tamaño de poro: 0.001 a 0.0001 μm Presión: 20 a 40 Bar	La NF es una tecnología de separación por membrana en la cual se trabaja con altas presiones, tiene un bajo consumo de energía favoreciendo su uso frente a otras técnicas de membranas. Retiene lactosa y otros componentes, permitiendo permear solo iones minerales monovalentes y agua. La NF permite concentrar y desmineralizar parcialmente el lactosuero líquido, gracias a la selectividad de las membranas	(Shankar et al.,2015) (Talebi et al.,2020)
Galacto-oligosacáridos (GOS)	Fermentación	Lactosuero	Bacillus circulans Streptococcus thermophilus	Temperatura: 40 °C Tiempo de fermentación: 5 horas Concentración de GOS producida: 53.45 g/L	La β -galactosidasa actúa sobre la lactosa, no solo para hidrolizarla en glucosa y galactosa, sino también para transferir unidades de galactosa a moléculas de lactosa y otros galactooligosacáridos, formando una mezcla de GOS. La mezcla resultante se somete a diversos procesos de purificación, como la filtración y la evaporación para separar y concentrar los GOS.	(Pescuma et al.,2015) (Simovic et al.,2019) (Chen et al.,2018)

<p>β-lactoglobulina, α-lactalbumina, lactoferrin</p>	<p>Intercambio Iónico</p>	<p>Lactosuero</p>	<p>NA</p>	<p>NA</p>	<p>Las proteínas del lactosuero se pasan a través de una columna que contiene la resina de intercambio iónico. Dependiendo de la carga de las proteínas y el tipo de resina, las proteínas se unirán a la resina. Elución: Para recuperar las proteínas unidas, se cambia el pH o se aumenta la concentración de sal en la solución. Purificación: El proceso puede repetirse con diferentes resinas o condiciones para lograr un mayor grado de pureza de las proteínas deseadas</p>	<p>(Shankar et al.,2015)</p>
<p>Lactosa en forma seca:</p>	<p>Congelación y Liofilización</p>	<p>Soluciones proteínas y lactosa</p>	<p>NA</p>	<p>NA</p>	<p>Congelación: Las soluciones concentradas de proteínas y lactosa se congelan a temperaturas muy bajas para preparar el material para la liofilización. Liofilización: Este proceso implica tres etapas: congelación, secado primario y secado secundario (remoción de agua residual).</p>	<p>(Das et al., 2015)</p>
<p>Polvo de suero de leche.</p>	<p>Secado por evaporación y secado rotativo</p>	<p>Retenido de UF y permeado de NF</p>	<p>NA</p>	<p>Temperaturas de operación: 76°C. Secado: aire caliente a 180°C.</p>	<p>La mezcla de retenido de proteínas y el flujo de lactosa se concentra y se seca para producir un polvo que cumple con las especificaciones de un producto de suero de leche desmineralizado. Evaporación: Se utiliza un evaporador de película descendente operando bajo vacío</p>	<p>(Telebi et al.,2020)</p>

La tabla 6 proporcionada presenta una variedad interesante de tecnologías dedicadas en la valorización y obtención de diferentes productos derivados del lactosuero. Por un lado, la tecnología más recurrente fue la fermentación, con la que se logra obtener una variedad de productos como etanol, biohidrógeno, ácido láctico y carbohidratos compuestos por una o más unidades de galactosa conocidos más comúnmente como GOS. En cuanto a los parámetros a considerar la temperatura y el pH juegan un papel importante en la conservación de los microorganismos utilizados. Así mismo, los microorganismos más adecuados para este caso son los mesófilos, debido al rango de temperatura que se encuentra entre 30 y 40 °C. Para la obtención de los productos finales, es necesario realizar procesos de separación para obtener el producto deseado.

Por otro lado, las tecnologías físicas como la ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), secado por evaporación y congelación contienen una gama interesante de productos, siendo los productos concentrados y fraccionados el foco de esta tecnología. Los parámetros por controlar son la temperatura, presión y tamaño de poro para la UF y NF. El nivel de dificultad suele ser medio, la desventaja de esta alternativa está en el ensuciamiento de los filtros y su mantenimiento.

Finalmente, las tecnologías químicas como el intercambio iónico son una excelente alternativa para la obtención de proteínas. La afinidad de las proteínas hacia la resina de intercambio iónico depende de su carga eléctrica, la cual es influenciada por el pH de la solución. Las proteínas con cargas opuestas a las de la resina se unirán a esta mientras que los iones desplazados se liberan en la solución. Requiere un control preciso de las condiciones del proceso, como el pH y la fuerza iónica

4.3 Diseño plan estratégico

Tras la revisión bibliográfica, se ha diseñado un plan estratégico basado en el método de proceso jerárquico analítico (AHP). Este plan se enfoca específicamente en las tecnologías y métodos de procesamiento adecuados para pequeñas y medianas empresas (pymes) lácteas teniendo en cuenta las alternativas y criterios presentados en la tabla 7.

Tabla 7

Matriz base para la selección de alternativas.

Alternativas		Criterios		
#		Costo	Requerimiento de lactosuero necesario	Requerimiento Espacio
1.	Coagulación y filtración	\$500.000- \$1.000.000	10 litros lactosuero/ litro de quesos	Mínimo
2.	Ultrafiltración	Más de \$20.000.000	150 litros lactosuero/ kg de WPC	Moderado
3.	Fermentación	\$1.000.000- \$7.000.000	1 m ³ lactosuero/ 25 m ³ de biogás	Amplio

Las alternativas propuestas se encuentran en las filas de la matriz y los criterios en columnas. El costo presenta 3 opciones de \$500.000-\$1.000.000, \$1.000.000-\$7.000.000 y más de \$20.000.000. El requerimiento de espacio costa de 3 opciones igualmente: mínimo, moderado y amplio. Y finalmente, el criterio de requerimiento de lactosuero se evalúa en función al rendimiento de cada alternativa.

Caso ejemplo.

En este estudio se realizó el desarrollo de la plantilla mediante un caso de ejemplificación propuesto por los autores, con el objetivo de servir como guía para la aplicación de la metodología en casos reales. Para ello, se desarrollaron las matrices de comparaciones entre las alternativas

tecnológicas teniendo en cuenta cada criterio y una comparación entre los criterios. Para este caso, fue necesario el desarrollo de 4 matrices en total para obtener la matriz de ponderación resultante.

Mediante la fórmula 2, se calculó número de comparaciones mínimas para completar una matriz, que en este estudio son 3. En un contexto real, los valores de importancia para estas comparaciones serían proporcionados por las empresas. Sin embargo, dado que este es un caso ejemplo, los valores fueron suministrados por los autores del estudio, siguiendo la tabla de importancia presentada previamente en la metodología.

La tabla 8 contiene las 3 comparaciones entre alternativas tecnológicas y los valores asignados.

Tabla 8

Comparaciones pareadas requeridas

	Comparaciones para el estudio	Valor	importancia
1	Importancia de la coagulación y filtración con respecto a la ultrafiltración.	7	
2	Importancia de la fermentación con respecto a la ultrafiltración	3	
3	Importancia de la coagulación y filtración con respecto a la fermentación	5	

En la tabla 8, se presentan los valores de importancia de cada una de las comparaciones asignados. El primer valor 7, quiere decir que la coagulación y filtración es 7 veces más importante que la ultrafiltración con respecto al primer criterio evaluado, que en este caso es el costo. El segundo valor posiciona la fermentación 3 veces más importante que la ultrafiltración y el ultimo valor indica la coagulación y filtración es 5 ves más importante que la fermentación.

Una vez obtenidos los valores de importancia mínimos, se procede a completar la matriz de comparación basada en el criterio de los costos presentada en la tabla 9.

Tabla 9

Matriz de comparación: Costo

Criterio: Costo			
	Coagulación y filtración	Ultrafiltración	Fermentación
Coagulación y filtración	1	7	5
Ultrafiltración		1	
Fermentación		3	1

El diligenciamiento de la matriz comenzó asignando los valores de las casillas de la diagonal, siendo 1 para dichas casillas. Esto sucede porque es la comparación de la tecnología con la misma tecnología. Posteriormente, se ubican los valores de importancia asignados en la tabla 8. Es necesario aclarar que, para posicionar correctamente estos valores se deben ubicar la primera tecnología mencionada en las casillas correspondientes a las filas y la segunda en las columnas de la matriz. Este proceso se repitió para el valor 5 y el valor 3.

Para un mayor entendimiento observa el ejemplo 1.

Ejemplo 1:

“Importancia de la coagulación y filtración con respecto a la ultrafiltración” (Primera importancia de la tabla 9)

Primera alternativa mencionada: Coagulación y filtración, se ubica en la casilla de las filas.

Segunda tecnología mencionada: ultrafiltración, se ubica en la casilla de las columnas.

Una vez posicionados los valores, se procede a completar las casillas restantes, para ello se usan las casillas completadas en el paso anterior. Si en la casilla (Coagulación y filtración, ultrafiltración) se asignó un valor de 7, en la casilla simétrica (Ultrafiltración, Coagulación y filtración) se asigna el valor inverso, 1/7.

A continuación, se presenta la tabla completa en la tabla 10.

Tabla 10

Matriz de comparación completa: Costo

Criterio: Costo							
	Coagulación y filtración	Ultrafiltración	Fermentación	Matriz normalizada			Vector promedio
Coagulación y filtración	1	7	5	0.74	0.64	0.79	0.72
Ultrafiltración	0.14	1	0.33	0.11	0.09	0.05	0.08
Fermentación	0.2	3	1	0.15	0.27	0.16	0.19
Suma	1.34	11	6.33				

Una vez llena la tabla 9, se realizan las sumas de los valores de las columnas, obteniendo los valores 1.34, 11 y 6.33. Con estos valores se hallaron los valores de la matriz normalizada, para ello se divide cada uno de los elementos de la matriz original entre la suma de su columna correspondiente. Por último, se calcula el vector promedio con las filas de la matriz normalizada. Obteniendo los valores 0.72, 0.08 y 0.19, los cuales serán utilizados en la matriz resultante. Este proceso se repite exactamente para la tabla 11 y 12

Tabla 11

Matriz de comparación: Lactosuero

Criterio: Cantidad Lactosuero							
	Coagulación y filtración	Ultrafiltración	Fermentación	Matriz normalizada			Vector promedio
Coagulación y filtración	1	7	5	0.74	0.64	0.79	0.72
Ultrafiltración	0.14	1	1	0.11	0.09	0.16	0.12
Fermentación	0.2	1	1	0.15	0.09	0.16	0.13
Suma	1.34	9	7				

Tabla 12

Matriz de comparación: Espacio

	Criterio: Espacio						
	Coagulación y filtración	Ultrafiltración	Fermentación	Matriz normalizada			Vector promedio
Coagulación y filtración	1	9	7	0.74	0.82	1.11	0.89
Ultrafiltración	0.11	1	0.20	0.08	0.09	0.03	0.07
Fermentación	0.14	5	1	0.11	0.45	0.16	0.24
Suma	1.25	15	8.20				

La tabla 13 necesaria, hace referencia a la matriz de comparación entre los criterios establecidos anteriormente.

Tabla 13

Matriz de comparación: Criterios

	Criterio: Costo Lactosuero Espacio						
	Costo	Lactosuero	Espacio	Matriz normalizada			Vector promedio
Costo	1	5	9	0.74	0.45	1.42	0.87
Lactosuero	0.20	1	0.20	0.15	0.09	0.03	0.09
Espacio	0.11	5	1	0.08	0.45	0.16	0.23
Suma	1.31	11	10.20				

Para esta matriz, también es necesario realiza 3 comparaciones. Las cuales fueron, importancia del costo con respecto al requerimiento de lactosuero (5), importancia del espacio con respecto al lactosuero (5) e importancia del costo con respecto al espacio (9). obteniendo el ultimo vector promedio.

En la tabla 14, se consignan los resultados de los vectores promedios de cada matriz obtenida. Los datos de ponderación son el vector promedio obtenido de la matriz de comparación entre criterios.

Tabla 14

Matriz de ponderación resultante

	Costo	Lactosuero	Espacio	Total
Coagulación y filtración	0.72	0.72	0.89	0.89
Ultrafiltración	0.08	0.12	0.07	0.09
Fermentación	0.19	0.13	0.24	0.23
Ponderación	0.87	0.09	0.23	

Para la toma de decisión, se debe realizar la función suma producto entre los valores de las alternativas y los valores de ponderación. Como resultado se obtiene un valor criterio para cada una de las alternativas tecnológicas, En la matriz final de ponderadores resultantes obtenida mediante el método AHP, el valor mayor representa la alternativa que tiene la mayor importancia relativa o preferencia global entre todas las opciones evaluadas. Es importante aclarar que este valor no hace referencia a costo, es un indicador numérico entre las diferentes alternativas que se jerarquiza de mayor a menor en valores numéricos. Por consiguiente, la Coagulación y filtración

5. Conclusiones

El diagnóstico revela un desconocimiento significativo sobre el lactosuero como subproducto en el sector de las pymes lácteas, donde el 60% de las empresas no reconocen su existencia. El principal producto elaborado por estas empresas es el queso. Las cantidades de lactosuero generadas oscilan entre 1,900 y 3,500 litros para un grupo de empresas, y entre 100,000 y 200,000 litros para otro grupo. La forma de gestión más común en este sector es la liberación del subproducto en cuerpos de agua

Tras la realización de la revisión bibliográfica se identificaron 805 documentos. A partir de un proceso de filtrado por título y resumen, se obtuvieron 44 trabajos de investigación que se centraron en la valorización del lactosuero mediante las siguientes tecnologías: Fermentación, ultrafiltración, nanofiltración, intercambio iónico y secado por evaporación.

El diseño del plan tecnológico brindó una plantilla en forma de 5 matrices, para la identificación de alternativas de valorización del lactosuero teniendo en cuenta ciertos como espacio, cantidad de lactosuero producido y espacio disponible para la implementación de la alternativa.

6. Recomendaciones

Se recomienda aplicar el plan estratégico desarrollado en este estudio en varias empresas lácteas. Con el objetivo de validar e implementar una serie de acciones que maximicen el aprovechamiento de este recurso. Es fundamental llevar a cabo un diagnóstico detallado de las capacidades y necesidades de cada pyme, lo que permitirá desarrollar soluciones específicas y adaptadas a sus circunstancias particulares. Además, se debe fomentar la formación y capacitación continua del personal en técnicas de manejo de residuos, asegurando que estén bien preparados para adoptar las mejores prácticas y tecnologías disponibles. Es igualmente importante considerar la inversión en investigación y desarrollo para explorar nuevas aplicaciones y productos derivados del lactosuero, lo que podría abrir nuevas oportunidades de mercado y mejorar la rentabilidad. Finalmente, colaborar con centros de investigación puede ofrecer apoyo valioso, facilitando la adopción de innovaciones y la mejora de los procesos de valorización. Estas estrategias no solo promoverán una gestión más eficiente del lactosuero, sino que también fortalecerán la sostenibilidad y competitividad de las pymes lácteas en la región

Referencias Bibliográficas

- Chen, G., Gras, S., & Kentish, S. (2018) Separation Technologies for Salty Wastewater Reduction in the Dairy Industry <https://doi.org/10.1080/15422119.2018.1496452>
- Codex-Alimentarius. International Food Standards. (1995). General Standard for Food Additives CODEX STAN (Vol. 192-1995). Recuperado de: http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf
- Solís, C. A., Vélez, C. A., & Ramírez-Navas, J. S. (2017). Tecnología de membranas
- Das, B., Sarkar, S., Sarkar, A., Bhattacharjee, S., & Bhattacharjee, C. (2015). Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.05.006>
- Djobo, O., Sina, H., Tagba, S., Ahyi, V., Savadogo, A., Adjanohoun, A., & Rendueles, M., Baba, L. (2022) Bio-production of lactic and lactobionic acids using whey from the production of cow's milk Wagashi cheese in Benin. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1020934>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Fernández Rodríguez, C., Martínez Torres, E. J., Morán Palao, A., & Gómez Barrios,
- Fernandez, D., Veillette, M., Ferndler, A., Avalos, A., Faucheux, N., & Heitz, M. (2017) Biovalorization of saccharides derived from industrial wastes such as whey: a review. Volume 16, pages 147–174
- Gómez Soto, J. A., & Sánchez Toro, Ó. J. (2022). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(01), 129–158. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.637>

Instituto nacional de tecnología industrial. (2017). Valorización del lactosuero. Ediciones Inti. Reporte-Tecnico-al-19-01-2022-1.pdf (bcrc-argentina.net.ar)

La república (2020). Colanta, Alpina y Nestlé, las empresas de lácteos y derivados más vendedoras de 2020: (larepublica.co)

Lácteos y sus productos | OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2022-2031 | OECD iLibrary (oecd-ilibrary.org)

Carrillo, G.A. (2021). Evaluación técnico-económica preliminar de la producción industrial de una bebida láctea simbiótica fermentada a partir de suero lácteo. Disponible en:https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1739&context=ing_alimentos

Motta-Correa, Y. O., & Mosquera, M. W. J. (2015). Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos 13(1), 81-9

Nafar, J., & Ortiz, A. (2011). Determinación de una alternativa viable para el aprovechamiento del lactosuero generado por la empresa quesillos armero guayabal.

Navas, R., & Sebastián, J. (2012). Aprovechamiento industrial de lactosuero mediante procesos Fermentativos Industrial use of Whey by fermentation Processes

Navas, R., & Sebastián, J. (2021). Aprovechamiento industrial de lactosuero mediante procesos Fermentativos Industrial use of Whey by fermentation Processes.

Paola, Y., & Avendaño, C. (2022). Revisión bibliográfica de los avances tecnológicos e ingenieriles sobre el aprovechamiento del lactosuero.

Pasotti, L., Zucca, S., Casanova, M., Micoli, G., Cusella De Angelis, M., & Magni, P. (2017). Fermentation of lactose to ethanol in cheese whey permeate and concentrated permeate by engineered Escherichia coli. <https://doi.org/10.1186/s12896-017-0369-y>

- Pescuma, M., Font de Valdez, G & Mozzi, F. (2015). Whey-derived valuable products obtained by microbial fermentation. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6766-z>
- Rajarajan, G., Irshad, A., Raghunath, B., Manesh G., & Punnagaiarasi, A. (2016). Utilización of chesese industry whey for biofuel-ethanol production. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27228-3_6
- Ramírez, A., Osorio, C., Gómez, N., & Brar, S. (2022). Cheese Whey as a Potential Feedstock for Producing Renewable Biofuels: A Review. <https://doi.org/10.3390/en15186828>
- Ramos, O. L., Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Xavier Malcata, F. (2014). Whey and/or its components: their use in the food industry. In *Whey*(pp. 1-26). CRC Press.
- Sar, T., Harirchi, S., Ramezani, M., Bilkan, G., Yesilcimen, M., Pandey, A., & Taherzadeh, M. (2021). Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152253>
- Shahid, K., Srivastava, V., & Sillanpaa, M. (2021). Protein recovery as a resource from waste specifically via membrane technology—from waste to wonder <https://doi.org/DOI:10.1016/j.jfoodeng.2016.09.013>
- Shankar, J., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R., & Surampalli, R. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002>
- Spalvins, K., Ivanovs, K., & Blumberga, D. (2017). Sustainable use of whey from cheese production: A case study from Latvia. *Energy Procedia*, 128, 467-474
- Talebi, S., Soares, F., Chen, G., Chen, X., Bathurst, K., & Kentish, S. (2020). Pilot Study on the Removal of Lactic Acid and Minerals from Acid Whey Using Membrane Technology

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.9b06561>

Simovic, M., Milivojevic, A., Corovic, M., Banjanac, K., & Bezbradica, D. (2019). Whey valorization using transgalactosylation activity of immobilized β -galactosidase
<https://doi.org/10.1111/ijfs.14222>

Trejo-Trejo, & Zuñiga, J. (2015). Revista de Tecnología e Innovación Propuesta para el aprovechamiento de lactosuero en el Valle del Mezquital. In Junio (Vol. 2, Issue 3).
www.ecorfan.org/bolivia

secretaria de ambiente y desarrollo sustentable Argentina. (2020). Recuperación y valorización de lactosuero en PYMES de la cuenca láctea argentina, a través de la asociación público-privada. (p-13). Ministerio de ambiente.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22617.54883>

Universidad de los andes ()Sector lechero en Colombia: Potencial desperdiciado – ANEIA –
Universidad de Los :(uniandes.edu.co)

X. (2016). Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. Revisión bibliográfica. Revista ION, 29(1), 47–62.
<https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016004>

Zevallos, E. (2006). obstáculos al desarrollo de las pequeñas y medianas empresas en américa latina*. (Vol. 11, Issue 20).